

## АПРОКСИМАЦІЯ ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО КОНТУРУ ТРУБ НАФТОВОГО СОРТАМЕНТУ

© Козоріз А.В., 2002

Науково-виробнича фірма "ЗОНД", м. Івано-Франківськ

**Описана математична модель для опису зовнішнього контуру труб нафтового сортаменту і запропонована методика визначення їх овальності, що є необхідним при розрахунку обсадних колон в процесі буріння свердловин.**

Обсадні труби мають овальність та відхилення товщини стінки від нормованих значень, які визначаються стандартом [1]. Наявність в трубі цих дефектів призводить до відмов типу зминання експлуатаційних колон в процесі експлуатації свердловин. Дослідженнями встановлено, що вплив овальності на опір труби зовнішньому тиску набагато більший, ніж нерівномірності товщини стінки [2-6]. Згідно [1] не допускається овальність труб, яка перевищує 0,8 граничних відхилень по зовнішньому діаметру. Тому визначення овальності обсадних труб для подальшого розрахунку колон на міцність перед їх спуском є актуальною задачею.

На основі досліджень результатів вимірів труб нафтового сортаменту було встановлено, що при описуванні зовнішнього контуру труби колом похибка апроксимації в 6 раз вища похибки вимірювань. Необхідна точність досягається при описуванні контуру еліпсом [5]. Найбільша овальність спостерігається на кінцевих ділянках труб, де умови охолодження менш сприятливі [7]. Описані відхилення в режимах прокатки труб не дозволяють обмежитись вибіркоким контролем труб. Необхідний 100 % контроль товщини і діаметра труб нафтового сортаменту на відповідність вимогам стандарту [1].

Розповсюджений спосіб визначення зовнішнього контуру труби – це знаходження його значень за результатами вимірювань діаметра штангенциркулем. Недоліком запропонованої в [5] методики є визначення параметрів апроксимуючого еліпсу виходячи із мінімального значення середнього квадратичного відхилення вимірюваних штангенциркулем значень діаметру труби від розрахованих на основі випадкових параметрів апроксимуючого еліпсу, які вибираються з певним кроком в заданому інтервалі. Такий інструментальний контроль не дає можливості оперативно і з достатньою точністю застосовувати його при 100 %-му автоматизованому контролі труб в умовах виробництва. В зв'язку з цим виникла задача більш точної апроксимації цього контуру при умові, що похибка апроксимації не буде перевищувати похибки відповідних вимірювань.

Еліпс є кривою другого порядку (конічне січення), яка описується рівнянням другої степені

відносно декартових прямокутних координат. Загальне рівняння другої степені відносно координат  $x, y$  має вигляд [8]:

$$a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0, \quad (1)$$

або

$$a_{11}x + a_{12}y + a_{13})x + (a_{21}x + a_{22}y + a_{23})y + (a_{31}x + a_{32}y + a_{33}) = 0,$$

де  $a_{i,k} = a_{k,i}$  ( $i, k = 1, 2, 3$ ).

Стандартне (канонічне) рівняння еліпса має вигляд:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (2)$$

$$a^2 = -\frac{1}{\lambda_2} \frac{A}{D} = -\frac{A}{\lambda_1^2 \lambda_2},$$

$$b^2 = -\frac{1}{\lambda_1} \frac{A}{D} = -\frac{A}{\lambda_1 \lambda_2^2},$$

де

$$D = A_{33} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{2,1} \\ a_{1,2} & a_{2,2} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$\lambda_1, \lambda_2$  – корені характеристичного рівняння

$$\lambda^2 - I\lambda + D = 0, \quad I = a_{11} + a_{22}. \quad (4)$$

Конічне січення повністю визначається п'ятьма своїми точками, якщо чотири з них не лежать на одній прямій [8]. Таким чином, задача апроксимації форми поперечного контуру труб зводиться до визначення коефіцієнтів  $a_{i,k}$  ( $i, k = 1, 2, 3$ ) рівняння (1) на основі отриманих значень координат  $x_j, y_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 5$ ).

Рівняння конічного січення еліпса, яке проходить через п'ять точок  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4), (x_5, y_5)$ , є таким [6]:

$$\begin{bmatrix} x^2 & x \cdot y & y^2 & x & y & 1 \\ x_1^2 & x_1 \cdot y_1 & y_1^2 & x_1 & y_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 \cdot y_2 & y_2^2 & x_2 & y_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3 \cdot y_3 & y_3^2 & x_3 & y_3 & 1 \\ x_4^2 & x_4 \cdot y_4 & y_4^2 & x_4 & y_4 & 1 \\ x_5^2 & x_5 \cdot y_5 & y_5^2 & x_5 & y_5 & 1 \end{bmatrix} = 0. \quad (5)$$

Визначення координат п'яти точок зовнішнього діаметру труб пропонується проводити акустич-

ним безконтактним методом неруйнівного контролю із застосуванням поздовжніх хвиль на частоті ультразвукових коливань 900 кГц (рис. 1). При відомих координатах п'єзоперетворювачів ПЕП1-ПЕП5 ( $X_j, Y_j$ ) ( $j=1, 2, \dots, 5$ ) координат точок поверхні труби ( $x_j, y_j$ ) визначаються так:

$$x_j = X_j - L_j \cos \alpha_j, \quad (6)$$

$$y_j = Y_j - L_j \sin \alpha_j, \quad (7)$$

де  $\alpha_j$  – кут нахилу акустичної осі  $j$ -го п'єзоперетворювача до осі абсцис,  $L_j$  – відстань між  $j$ -м п'єзоперетворювачем і зовнішньою поверхнею контролюваної труби

$$L_j = \frac{C \cdot t_j}{2}, \quad (8)$$

де  $C$  – швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль ультразвукових коливань у повітрі,  $t_j$  – час проходження ультразвукових імпульсів від зовнішньої поверхні стінки труби до випромінюючої поверхні п'єзоперетворювача.

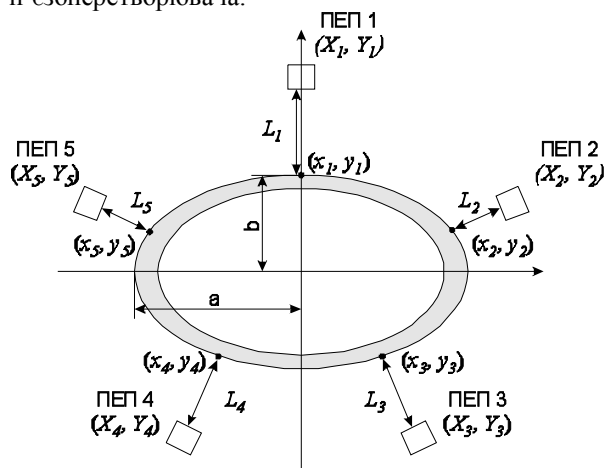


Рис. 1. Схема розміщення п'єзоперетворювачів для визначення овальності обсадних труб

Коефіцієнти  $a_{i,k}$  ( $i, k=1, 2, 3$ ) можна виразити через матрицю рівняння (5) таким чином:

$$\begin{cases} a_{11}=qA_{11}, & 2a_{12}=qA_{12}, & a_{22}=qA_{13}, \\ 2a_{13}=qA_{14}, & 2a_{23}=qA_{15}, & a_{33}=qA_{16}, \end{cases} \quad (9)$$

де  $q$  – довільна постійна,  $A_{1l}$  – алгебраїчне доповнення відповідного елемента матриці рівняння (5) ( $l=1, 2, \dots, 6$ ).

Знаючи коефіцієнти  $a_{i,k}$  ( $i, k=1, 2, 3$ ) рівняння (1), знаходимо параметри апроксимуючого еліпса  $a$  і  $b$  по формулі (2). Тоді овальність контролюваної труби буде дорівнювати:

$$e = 2 \frac{a-b}{a+b}. \quad (10)$$

Стан розвитку сучасної обчислювальної техніки дає можливість з необхідною швидкістю і точністю, яка відповідає точності проведених вимірювань, обчислювати овальність зовнішнього контуру труби  $e$  при автоматизованому контролі, що є необхідним при розрахунку обсадних колон.

1. ГОСТ 632-80. Трубы обсадные и муфты к ним. Технические условия. 2. Саркисов Г. М. Расчёты буровых и обсадных колонн. – М.: Недра, 1971. – 208 с. 3. РД 39-2-411-80. Инструкция по расчёту буровых колонн для нефтяных и газовых скважин. – Введ. 10.10.80. – Куйбышев: Б.и., 1981. – 80 с. 4. Инструкция по расчёту обсадных колонн для нефтяных и газовых скважин: Утв. 19.09.75 / Мингазпром; 20.10.75 / Мингеологии. – Куйбышев: Б.и., 1976. – 152 с. 5. Андриянов А. В. Аппроксимация формы поперечного контура нарезных труб нефтяного сортамента при расчёте их несущей способности // Увеличение ресурса нарезных труб нефтяного сортамента: Сборник научных трудов. – Куйбышев: Гипровостокнефть, 1983. – С. 117-119. 6. Мамедов А. А. Предотвращение нарушений обсадных колонн. – М.: Недра, 1990. – 240 с. 7. Баитанников Л. А., Копей Б. В. Надёжность буровых и обсадных труб и контроль качества их материала. – М.: ВНИИЭгазпром, 1987. – 53 с. 8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1970. – 720 с.